

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2018～2021

課題番号：18KT0045

研究課題名（和文）代替動物起源タンパク資源としての食用昆虫のポテンシャルとその持続的生産

研究課題名（英文）Potential and sustainable production of edible insects as an alternative source of animal protein and

研究代表者

田中 史彦（Tanaka, Fumihiko）

九州大学・農学研究院・教授

研究者番号：30284912

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、新たな動物起源タンパク資源として期待される食用昆虫の食料としての機能性や栄養的価値など様々なポテンシャルを引き出すこと、環境負荷の小さい持続可能型生産体系を確立すること、市場拡大の可能性を探ることを目的に、以下の中課題について考究したものである。すなわち、（1）持続可能型食用昆虫生産技術の確立、（2）食品や飼料としての品質の評価、（3）消費者の意識調査と市場開拓の可能性評価である。

本研究の遂行によって持続可能な食料生産を支える食用としての昆虫の生産管理と食材としての適性加工、市場戦略の方向性が示されるとともに、将来の食用昆虫生産拠点形成に向けた学術的基盤づくりが推進された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業工学・農業経済学分野連携により知を集積することで、食用昆虫の飼育から高品質加工、消費者調査とこれに基づく市場戦略の提案に至るまで、体系的な成果を得た点は学術的に意義深く、食用昆虫生産基盤形成に資するものであった。

また、昆虫食のメリットは、エネルギー投入型の動物由来タンパク源生産からの脱却、高品質・高機能性食品の提供、廃棄物削減による環境負荷低減、新たな価値を生み出す食品の創造などであるが、環境負荷低減と農資源利用の多様化による食料確保の面からも本研究遂行の社会的意義は大きいといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the potential of edible insects, which are expected to be a new animal-derived protein resource, as a novel food. The purpose of this study was to draw out the various possibilities of insects as food products, including their functionality and nutritional value, and to establish a sustainable production system with low environmental impact, as well as to explore the possibility of market expansion. To achieve these objectives, the following three topics were investigated: (1) establishment of sustainable edible insect production technology, (2) quality evaluation of insects as food and feed, and (3) consumer awareness survey and market strategy.

This research will establish an academic platform for the promotion of edible insect production by providing guidelines to support sustainable food production, including production management, proper food processing, and market strategies.

研究分野：ポストハーベスト工学

キーワード：農業工学 農政経済学 食用昆虫 ノベルフード サステイナブル

## 1. 研究開始当初の背景

昆虫は人類の誕生から近年に至るまで貴重な動物起源のタンパク供給源として重要な位置を占めてきた。我が国でも古来よりイナゴやハチノコ、カイコなどが食卓に上がることは多く、戦前戦後の食糧不足と栄養源を補う食材として重宝されてきた。これらの多くは自然個体群からの供給が一般的であり、作物の増産による食糧の安定供給と畜産の振興に伴う家畜由来のタンパク源供給によって昆虫食の習慣は薄れてきた。しかしながら、家畜は大量の餌を消費することと成長に時間がかかるため飼育効率が悪く、また大量に排泄される糞尿処理や不可食部の処理の問題から、極めて環境負荷の高い産物である。これに対し食用昆虫は、飼育効率(1kgの食品を生産するのに供給すべき飼料量)が良く、可食部比率、飼育期間・空間、廃棄物量、栄養価の観点からも優位であり、環境負荷低減とバランスの取れた高タンパク栄養源としてこれを見直す機運が高まっている。

また、国連 FAO は 2013 年 6 月に食用昆虫の有用性について説いた報告書「食用昆虫 食料と飼料の安全保障に向けた将来の展望 (Edible insects Future prospects for food and feed security)」をまとめ、食材や食料として昆虫を活用することの利点を環境、健康、社会、経済の面から説いている。食料源や飼料源としての昆虫が注目を浴びているのは、動物性タンパク質のコストの上昇、フードセキュリティ、環境負荷、人口の増加と中間所得層のタンパク質需要の増加などの人類存続のための課題と密接に関連しており(Oonincx et al., 2010; Veldkamp et al., 2012; Kuyper et al., 2013; Rumpold & Schluter, 2013)、このような点から、従来の家畜や飼料源の代替を見つけることが急務とされている。

さらに、EU では 2015 年 11 月に承認された一連の「ノヴェルフードに関する規制」が 2018 年 1 月より施行され、食用昆虫の取引が自由化、食用昆虫の市場が拡大することが確実視されている。学術面でも、2015 年以降、ScienceDirect で “Edible insect” のキーワードでヒットする論文も急激に増え始めた。また、昆虫食は地球外惑星移住の際のタンパク源供給の切り札となる宇宙食としても注目されている。しかしながら、昆虫食が普及するためには多くの課題が残されており、特に昆虫食の専門家が少ない我が国においては市場調査、飼育から加工、栄養価・安全性・経済評価に至るまでの知の集積が必要とされている。このような背景から、本研究では、昆虫食のポテンシャルを最大限に引き出し、安定生産技術を確立することを目的に種々の観点から多面的アプローチを行うこととした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、「次世代の農資源」として期待がもたれる食用昆虫の食料としてのポテンシャルを最大限に引き出し、エネルギー投入型の家畜飼育による動物起源タンパク資源生産から環境負荷の小さい持続可能な生産体系への移行を目指すものである。“タンパク供給源としての食用昆虫が家畜の代替になり得るか?”という問いに対し、技術、健康、経済、社会面からの多面的アプローチによりこの可能性を探り、科学的論証に基づく答えを出すこととする。本研究は、(1)持続可能型食用昆虫生産技術の確立、(2)食品や飼料としての品質・安全性の評価、(3)消費者の意識調査と経済的・社会的評価の3中課題から構成され、計画的生産のための昆虫増殖プレディクターと飼育管理のための ICT システムの開発、“食用昆虫の食材としての利点は何か?”を探る。また、社会科学的アプローチから“消費者は昆虫食を受け入れることができるか?”という課題に向き合い、どうすれば昆虫食が社会に浸透していくかや生産コストを抑えるための工夫について検討し、再び我が国に持続可能な昆虫食文化が復活するための基盤形成を行いたい。

## 3. 研究の方法

持続可能なタンパク源供給システムとその普及に関する研究として、以下にその方法を示す。

### (1) 持続可能型食用昆虫生産技術の確立

本中課題は、持続可能型食用昆虫飼育システムと食品・飼料の加工、昆虫食材を用いた食品の製造技術の開発から成る。まず、飼育システムの開発では、食用昆虫の行動追跡や成長速度などについてサイクルを知るとともに、飼育実験によって廃棄食材給餌(規格外野菜など)による環境負荷を低減した飼育が可能かについても調査した。特に、群体監視用 ICT ビデオシステムを導入することによってオンラインで飼育情報を確保できることから、ビッグデータ解析により個体群の管理が向上するものと期待した。つぎに、各種廃棄野菜を加工して得た粉末を給餌し、飼育が可能か否かを調査した。さらに、食品・飼料としての加工特性の調査とその技術の確立に関する研究では、粉末食品の出荷をターゲットに、各種乾燥モデルを用いた乾燥特性解析や乾燥工程の可視化により、実用装置の設計に資する基礎データの収集と処理の最適化を図った。

### (2) 食品や飼料としての品質・安全性の評価

生産された食用昆虫と加工食品の品質評価、ならびに高品質化工法について研究を行った。食用昆虫の成分は家畜肉と比較しても遜色が無く、代替動物性タンパク源として十分に活用可能であることを示すため成分分析を行った。また、市販飼料に農産物の残渣(ニンジン、ユズ、

ムラサキイモ) 10%(w/w)を添加した粉末を給餌し、餌の違いによる影響を成長度とメタボローム解析により明らかにした。さらに、高品質な昆虫粉末を得るための乾燥前処理(プランチング)の効果についても検証した。加えて、食材としての利用の可能性を探った。

### (3) 消費者の意識調査と経済的・社会的評価

市場拡大に向けた消費者意識調査を実施し、昆虫食普及のためになすべき戦略を探った。消費者意識調査では広い年齢幅でアンケートを実施し、昆虫食に対する嫌悪感など昆虫食普及に向けて我々が解決すべき課題を明らかにした。また、昆虫食が普及する中国やベトナムでも消費者の調査を実施した。また、タイの大学との研究協力体制を構築し、昆虫食の普及につながる各種情報収集を行った。さらに、産官学の研究機関との連携を視野に入れた基盤形成に尽力した。

## 4. 研究成果

### (1) 持続可能型食用昆虫生産技術の確立

#### ① ICTシステムによる食用昆虫の行動追跡と成長速度解析

食用昆虫の計画的生産のためにはその飼育を管理し、増殖を予測するシステムの開発が不可欠である。環境応答としての昆虫の成長に関する基礎データの収集と、これを利用した飼育中の環境制御下での個体数予測プレディクターを開発できれば、需要に応じた出荷調整が容易になるものと期待できる。ここでは群体監視用 ICT システムを導入し、オンラインで大量の情報を収集することで、将来、ビッグデータ解析による個体数プレディクター開発の基礎となる監視システムを構築した。図1は開発した追跡システムによりコオロギの移動量と成長を追跡した例であるが、活動度や生産量の指標となる移動距離や平均投影面積の情報を取得することが可能となった。同時に環境温度も収集でき、環境と生育情報の一元管理を可能とした。また、各種廃棄野菜を加工して得た粉末(ニンジン、ムラサキイモ、ユズ)を給餌して成長計測を行ったが、市販試料とそん色は無かった。このシステムを利用することによりコオロギの行動や成長の環境因子への依存性も分析が可能となった。

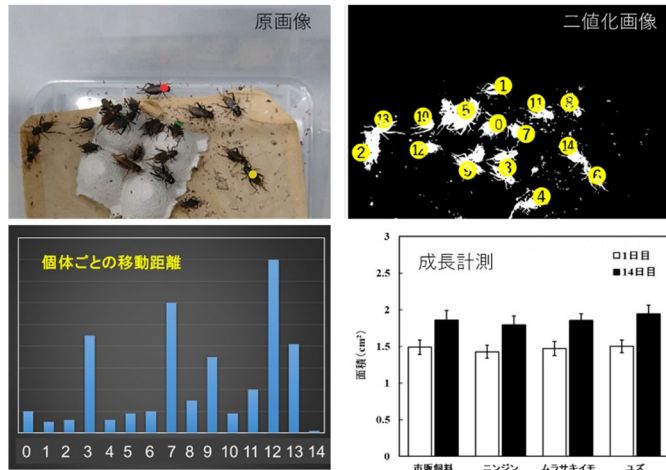


図1 食用昆虫の行動追跡と成長速度解析システム

同時に環境温度も収集でき、環境と生育情報の一元管理を可能とした。また、各種廃棄野菜を加工して得た粉末(ニンジン、ムラサキイモ、ユズ)を給餌して成長計測を行ったが、市販試料とそん色は無かった。このシステムを利用することによりコオロギの行動や成長の環境因子への依存性も分析が可能となった。

#### ② 食用昆虫の加工技術の開発

高品質な乾燥食材を安定生産するためには、これを適切に加工する必要がある。昆虫食については見た目や食すことに対する嫌悪感を拭い去ることが必須の課題である(後述)。見た目については粉末等に加工し、例えばパンの小麦粉の一部代替として使用することによって嫌悪感を抑え、消費者の食行動を促すことは可能である。粉末を製造する際にはまずコオロギを適切に乾燥する必要がある。ここでは乾燥装置設計に不可欠なコオロギの乾燥特性データの収集を行った。図2は食材となるコオロギを温度70℃、相対湿度10%の空気によって乾かした際の乾燥特性曲線であるが、材料温度は時間の経過とともに乾燥空気温度に近づき、乾燥速度は減少する減率乾燥期間にあることが分かる。乾燥実験は単層で行い、乾燥条件は温度40℃~80℃、相対湿度10%および20%としたが、これらのデータを乾燥速度モデルにより解析するといずれの条件でも乾燥は減率乾燥第一段期間にあることが明らかとなった。また、それぞれの湿度において Arrhenius 型の温度依存性があることが確認された。なお、乾燥条件ごとの乾燥速度定数について雌雄の差は認められず、個体サイズ(表面積)の影響があることが明らかとなった。このため、表面積の影響を考慮した新たな乾燥モデル、

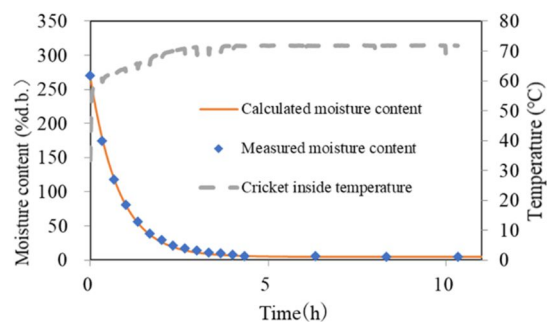


図2 コオロギの乾燥特性曲線

(乾燥温度70℃、相対湿度10%)

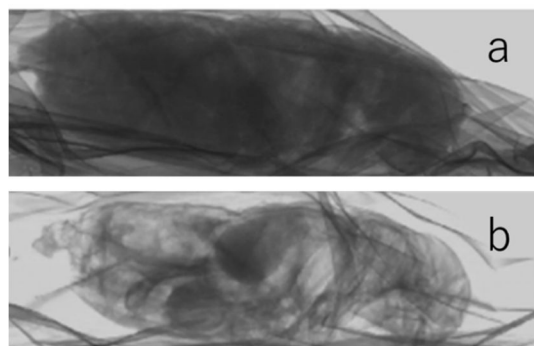


図3 乾燥前(a)後(b)のコオロギのX線CT画像



すなわち、単位面積当たりの乾燥速度を加味する定数を含んだ減率乾燥第一段式を提案し、個体サイズの影響を排した解析法の確立に成功した。さらにこの研究では、コオロギの乾燥過程を可視化する試みも行った。図3は乾燥前後におけるコオロギのX線CT画像である。ここでは水分のある密度の高い部分が黒く、空隙が増えるほど白く写るように設定している。乾燥前（水分75.3%）はコオロギの全身に水分が存在するため密度が高くなり黒っぽい画像となっているが、乾燥後（2.8%）は空洞が広がるためX線の透過性も良くなり内部器官の形状も分かりやすくなることが分かる。クチクラを多く含む表皮と、消化管、その他に分級することも可能であろう。

その他にも、養蚕業で廃棄されるカイコサナギの食材としての有効利用を目的に、数値流体力学(CFD)解析による乾燥シミュレーションを実施し、乾燥中のサナギ内部温度と水分の時空間分布を可視化・予測することに成功した。なお、カイコサナギの乾燥はコオロギとは異なる複雑な特性を持ち、余熱期間、恒率乾燥期間、減率乾燥期間が存在することが明らかとなった。また、それぞれの乾燥速度定数が Arrhenius 型の温度依存性を持つことも示された。

## (2) 食品や飼料としての品質・安全性の評価

### ① 飼料の違いがコオロギ粉末品質に与える影響

食品や飼料としての品質・安全性の評価では、飼料の違いがコオロギ粉末品質に与える影響について調査した。市販飼料に農産物の残渣（ニンジン、ユズ、ムラサキイモ）10% (w/w) を添加した粉末を給餌し、餌の違いによる影響を成長度とメタボローム解析により明らかにした。その結果、残渣による飼育は市販飼料区と比べて遜色なく、ムラサキイモ飼育群で必須アミノ酸であるロイシン、イソロイシン等の増加が認められた。図4にGC-MS測定で得られた成分の主成分分析の結果を示す。各区で給餌の影響を区分することが可能であった。

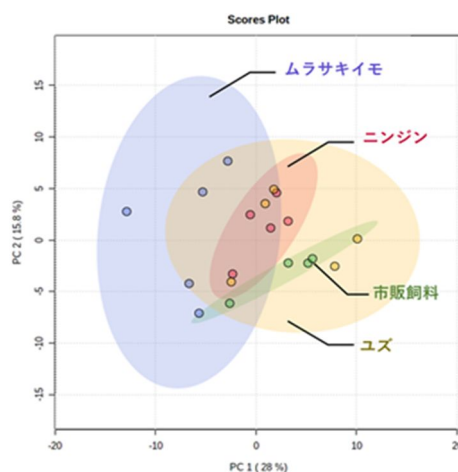


図4 主成分分析によるメタボローム解析結果

### ② 乾燥前処理としてのブランチングの有効性検証

コオロギ粉末の臭いの原因を探ることと、これを軽減するための乾燥前処理について考究した。

図5は不快臭の原因となるにおい成分をGC-MSによって計測した結果である。消費者が問題なくコオロギ食材を受け入れるためには、これらの不快臭をできるだけ低減する必要がある。

そこで、70 および 105 乾燥の前処理として、97 - 40s の熱湯ブランチングを施すことを試みた。その結果、熱湯ブランチング処理後に 70 で乾燥を行うことで、不快臭（3-メチルブタノール、酢酸、イソ吉草酸、酪酸）を軽減できることが明らかとなった。

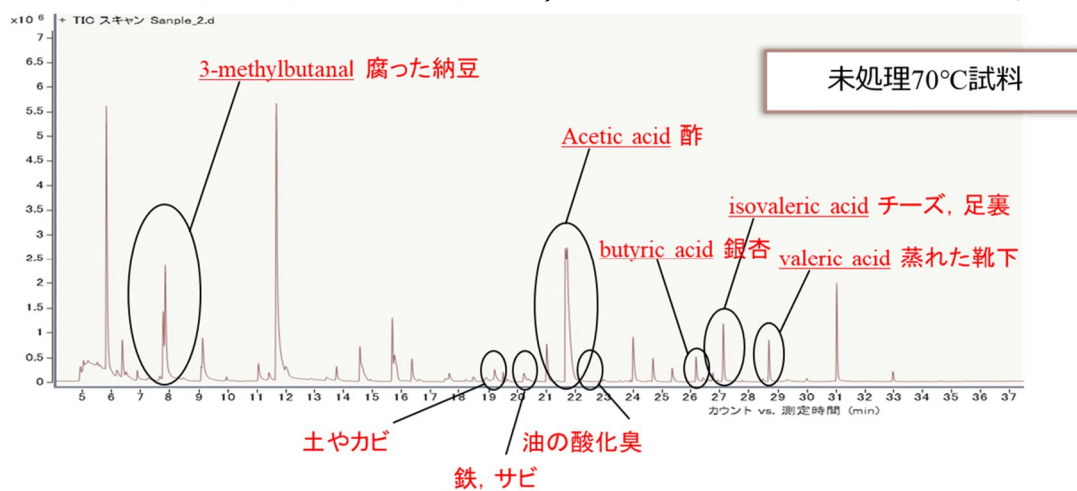


図5 コオロギ粉末から検出された化合物（におい嗅ぎ GC-MS）

### ③ 乾燥粉末を用いたパンの製造

コオロギの乾燥粉末を小麦粉の代替として使用し、パンを製造する研究を行った。市販のコオロギ粉末をパン生地混ぜ、混合割合が品質に与える影響を調査した。対照となるパン生地は強力粉 250 g に水、バター、イーストなどを混ぜて作製した。コオロギ含有パンは強力粉とコオロギ粉の総重量を 250 g に固定し、置換割合 10% (コオロギ粉 25 g) ~ 50% (同 125 g) の生地を作製した。その結果、質量ベースで 10~50% でもパンは製造できるが、混合割合の増加とともに色が褐色に変化し、焼き上がり後の体積は減少すること(図6)、30%以上で硬さが急激に増すこと(図7)、混合割合が10%では味覚的に問題なく受け入れられることが明らかとなった。

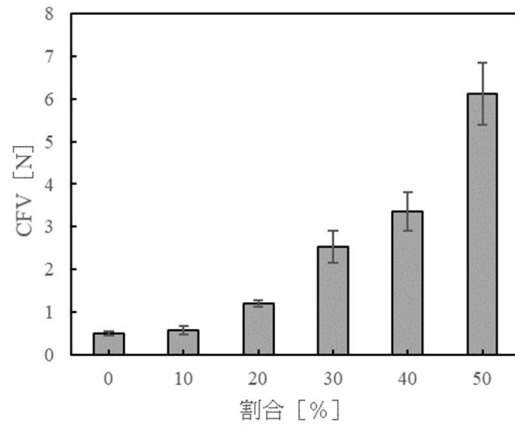
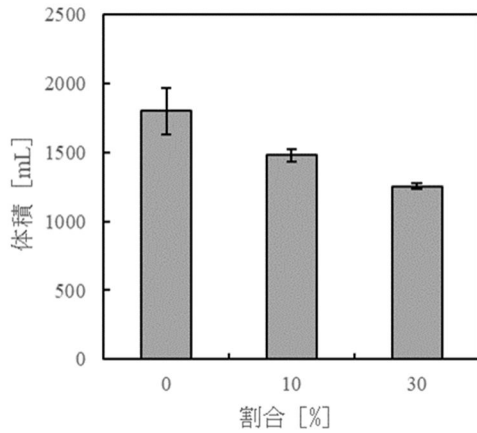


図6 置換割合ごとのコオロギパンの体積

図7 置換割合ごとのコオロギパンの硬さ (CFVは硬さの指標である)

### (3) 消費者の意識調査と経済性・社会的評価

昆虫食を普及させるためには、昆虫食に対する消費者意識を調査し、心理的阻害要因を克服するために有効なマーケティング手段を確立することが必要となる。ここでは、構造方程式モデリングを用いて、態度、消費者属性、トライアル購入意向(WTTB)の関係性を推計することで、国内調査データ(425サンプル)の分析(フローは図8を参照)を進め以下の点を明らかにした。すなわち、昆虫食に対する嫌悪感が極端に強い拒否層が4割存在し、6割の非拒否層には男性および子供時代の昆虫食経験のある者が相対的に多い。新奇性恐怖は日本では欧米ほど強い影響がない。昆虫の形が残る昆虫食消費では好奇心が重要なファクターであり、HACCPのような安全性認証はかえって興味をそぐ恐れがある。嫌悪感の強い消費者においても餌としての利用であれば消費の可能性が高く、HACCPも有効な対策となる。

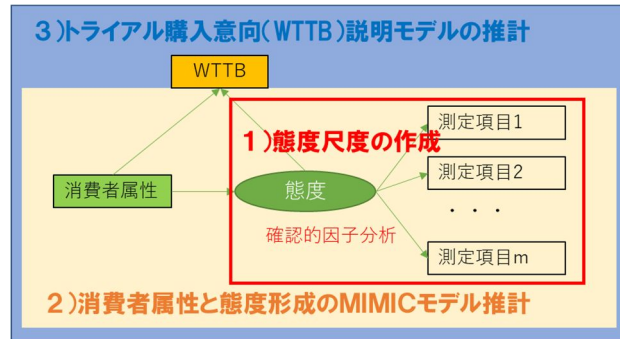


図8 昆虫食を普及させるための消費者意識調査分析フロー

今後の昆虫食普及のためのプロモーション戦略として、周囲で昆虫食が食べられている事実の認識がリスク懸念を下げると考えられることから、インフルエンサーによるSNS・メディアでの情報発信は有効であると結論した。ただし、対象は興味の強い層だけではないため発信内容に留意が必要である。長期的視点で、子供に対して昆虫食の試食機会を増やすことも重要で、WTTBの上昇、および非拒否層の母数拡大の可能性に貢献することを明らかにした。また、中国とベトナムで実施し、同様の結果を得た。

その他、国内外の産官学連携体制についてもその基礎を築くことができ、昆虫食普及推進の基盤が形成された。

以上、農業工学と農業経済学を融合した本研究の遂行によって、持続可能な食料生産を支える食用としての昆虫の計画的生産と最適加工技術の開発、普及戦略策定の指針が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田中史彦、田中良奈、今泉鉄平、森高正博	4. 巻 55
2. 論文標題 代替動物起源タンパク資源としての食用昆虫のポテンシャルとその持続的生産	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 28-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 2件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 泉田太一、田中良奈、田中史彦
2. 発表標題 昆虫食を目的とするコオロギの乾燥モデルの開発
3. 学会等名 第74回九州農業食料工学会例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田貴子、佐伯史華、今泉鉄平、勝野那嘉子、西津貴久
2. 発表標題 ブランチングと乾燥温度がコオロギパウダーの風味に及ぼす影響
3. 学会等名 2021年農業施設学会学生・若手研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福岡圭、泉田太一、田中良奈、田中史彦
2. 発表標題 昆虫食を目的としたコオロギの乾燥特性
3. 学会等名 2019年 農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会 合同国際大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田貴子、大島達也、今泉鉄平
2. 発表標題 食用コオロギを添加したパンの品質特性
3. 学会等名 パンシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KURODA Kiko, OSHIMA Tatsuya, IMAIZUMI Teppei
2. 発表標題 Evaluation of quality and structural properties of bread containing edible cricket
3. 学会等名 2019 International Joint Conference on JSAM, SASJ, and 13th CIGR VI Technical Symposium joining FWFNWG and FSWG Workshops (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中史彦
2. 発表標題 昆虫食をデザインする～代替動物起源タンパク資源としての食用昆虫のポテンシャルと持続的生産
3. 学会等名 信州機能性食品開発研究会第1回研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉田太一、田中良奈、田中史彦
2. 発表標題 個体重を考慮したコオロギの乾燥モデルの開発
3. 学会等名 農業食料工学会第79回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本一馬、田中良奈、田中史彦
2. 発表標題 昆虫食を目的とするカイコサナギの乾燥特性
3. 学会等名 第75回九州農業食料工学会例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本一馬、田中良奈、田中史彦
2. 発表標題 カイコ蛹の乾燥特性に関する研究
3. 学会等名 2022年農業施設学会学生・若手研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇田ななこ、今泉鉄平、中野浩平、勝野那嘉子、西津貴久
2. 発表標題 野菜粉末添加飼料を与えたコオロギの一次代謝成分プロファイル
3. 学会等名 2022年農業施設学会学生・若手研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今泉鉄平
2. 発表標題 コオロギ含有食品における品質向上の検討
3. 学会等名 岐阜大学フェア2021（招待講演）
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 森高正博
2. 発表標題 昆虫食に対する消費者受容 経験、昆虫食の形態、安全認証の効果
3. 学会等名 食農資源経済学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本一馬
2. 発表標題 昆虫食をデザインする
3. 学会等名 九州農業食料工学会アイデアコンテスト
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>1. 2021年 九州大学総長賞受賞 昆虫食をデザインする 坂本一馬</p> <p>2. 2021年 九州農業食料工学会優秀講演賞（口頭発表部門最優秀賞）受賞 昆虫食を目的とするカイコサナギの乾燥特性 坂本一馬・田中良奈・田中史彦</p> <p>3. 2021年 九州農業食料工学会アイデアコンテスト最優秀賞受賞 昆虫食をデザインする 坂本一馬</p> <p>4. 2022年 FBS福岡放送にて報道</p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 良奈  (Tanaka Fumina)  (80817263)	九州大学・農学研究院・助教    (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森高 正博  (Moritaka Masahiro)  (20423585)	九州大学・農学研究院・准教授    (17102)	
研究分担者	今泉 鉄平  (Imaizumi Teppei)  (30806352)	岐阜大学・応用生物科学部・助教    (13701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関